

PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO DEFINITIVO

EUROLINK S.C.p.A.

IMPREGILO S.p.A. (MANDATARIA)
 SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A. (MANDANTE)
 COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L. (MANDANTE)
 SACYR S.A.U. (MANDANTE)
 ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD (MANDANTE)
 A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE (MANDANTE)

<p>IL PROGETTISTA  Ing. E.M. Veje Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n° 15408 </p>	<p>IL CONTRAENTE GENERALE Project Manager (Ing. P.P. Marcheselli)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Direttore Generale e RUP Validazione (Ing. G. Fiammenghi)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Amministratore Delegato (Dott. P. Ciucci)</p>
--	---	--	---

<p><i>Unità Funzionale</i> OPERA DI ATTRAVERSAMENTO <i>Tipo di sistema</i> IMPIANTI TECNOLOGICI <i>Raggruppamento di opere/attività</i> SISTEMI DI MONITORAGGIO <i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> Monitoraggio strutturale - SHMS <i>Titolo del documento</i> Correnti vaganti, analisi e monitoraggio</p>	<p>PI0037_F0</p>
---	-------------------------

CODICE	C G 1 0 0 0	P	2 S	D	P	I T	M 3	S M	0 0	0 0	0 0	0 2	F0
--------	-------------	---	-----	---	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	BBU, PVN	TAP	ABR/JCA

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Correnti vaganti, analisi e monitoraggio		<i>Codice documento</i> <i>PI0037_F0_ITA.docx</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20/06/2011</i>

INDICE

INDICE	3
Abbreviazioni	3
1 Introduzione	4
2 Conclusione e raccomandazione	4
3 Fonti di correnti vaganti.....	4
4 Valutazione del rischio di corrosione	5
4.1 Identificazione dei possibili percorsi della corrente vagante	5
4.1.1 Isolamento imperfetto delle rotaie	6
4.1.2 Percorsi metallici lungo la struttura del ponte	8
4.2 Basi di calcolo.....	9
5 Quantificazione dei risultati	10
6 Sistemi di monitoraggio proposti	10
6.1 Monitoraggio della corrosione dovuta a corrente vagante	10
6.2 Corrosione generica e modelli di aggiornamento della vita utile	11
6.3 Sensori di monitoraggio	11
7 Stima dei valori di resistenza per il modello di calcolo.....	12

Abbreviazioni

AC	Alternating Current - corrente alternata
Bridge	Messina Strait Bridge
DC	Direct Current - corrente continua
EN	Europa Norm
PE	Conduttore di protezione
SI	System of Units
Ω	Ohm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Correnti vaganti, analisi e monitoraggio		<i>Codice documento</i> <i>PI0037_F0_ITA.docx</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20/06/2011</i>

1 Introduzione

La presente relazione descrive la valutazione preliminare del rischio di corrosione di acciaio esposto o incapsulato, causato da correnti vaganti dovute alla ferrovia elettricamente alimentata che attraversa il ponte. Insieme a questa valutazione vi è una valutazione della possibilità di quantificare il magnitudo di possibili correnti vaganti.

La valutazione si limita al ponte fra le strutture terminali, incluse, e i blocchi di ancoraggio. Le strutture al di fuori di queste aree, come ad esempio la struttura del viadotto di accesso sul versante Sicilia e le altre strutture interrato ed installazioni, sono escluse in ragione della mancanza di dati.

La presente relazione propone anche i metodi per monitorare il rischio di corrosione.

2 Conclusione e raccomandazione

Un modello di calcolo delle tensioni ai nodi e le correnti di linea in una rete di resistenza, è stato sviluppato e può essere utilizzato per quantificare le correnti vaganti ed individuare le aree possibilmente a rischio di corrosione da corrente vagante, che richiedono particolare attenzione e monitoraggio.

La valutazione del magnitudo delle correnti vaganti, dipende fortemente dalla qualità dei dati di input, che devono essere verificati. Inoltre, deve essere condotta una analisi di sensibilità che rispecchi le condizioni di funzionamento e di progetto.

Si raccomanda di includere un sistema di monitoraggio della corrosione in modo da individuare

- La corrosione generale nelle strutture rinforzate in calcestruzzo
- La corrosione da corrente vagante.

3 Fonti di correnti vaganti

I treni che percorrono la ferrovia sul ponte saranno alimentati elettricamente mediante sottostazioni ferroviarie dedicate, situate sul versante Calabria e Sicilia.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Correnti vaganti, analisi e monitoraggio		<i>Codice documento</i> <i>PI0037_F0_ITA.docx</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20/06/2011</i>

Le ferrovie italiane utilizzano due sistemi di alimentazione a trazione: il tradizionale 3 kV CC, e 25 kV CA per le nuove linee ad alta velocità.

La potenza di trazione è distribuita ai treni mediante un sistema a catenaria sospesa ed è raccolta dai motori dei treni mediante pantografi.

Nel sistema CC, i binari della ferrovia sono isolati dal suolo in modo da ridurre le correnti vaganti, e idealmente, la corrente di trazione ritorna alle sottostazioni di trazione mediante il sistema elettrico continuo delle rotaie. Ciò malgrado, in ragione delle inevitabili imperfezioni dell'isolamento delle rotaie, parte della corrente di ritorno troverà percorsi di ritorno aggiuntivi, ad esempio attraverso il suolo e la struttura del ponte.

Nei sistemi di trazione CA, i binari di solito non sono isolati dal suolo per ragioni di sicurezza. In ragione della natura bi-polare della corrente, la corrosione causata dalle correnti vaganti CA è considerevolmente inferiore a quella causata dalle correnti vaganti CC della stessa magnitudo.

Il presente studio si basa sul presupposto che venga applicato un sistema di trazione 3 kV CC.

4 Valutazione del rischio di corrosione

Il rischio di corrosione dovuto alle correnti vaganti può essere valutato:

- Identificando i possibili percorsi della corrente vagante
- Stimando il magnitudo delle correnti vaganti

4.1 Identificazione dei possibili percorsi della corrente vagante

Le correnti vaganti che sfuggono dai binari sul ponte e sulle strutture terminali in ragioni di un imperfetto isolamento delle rotaie, possono raggiungere il suolo solo attraverso le fondazioni in cemento delle torri, le strutture terminali e i blocchi di ancoraggio e per mezzo dei collegamenti delle strutture terminali agli impalcati adiacenti del ponte.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Correnti vaganti, analisi e monitoraggio	Codice documento <i>PI0037_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20/06/2011

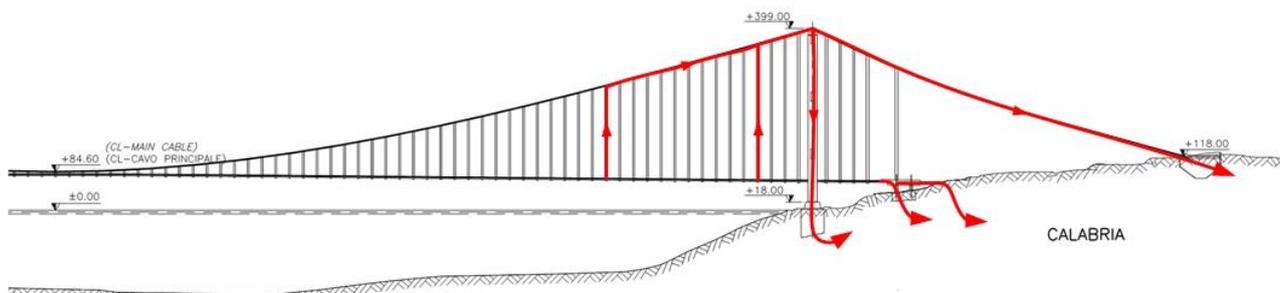


Figura 1: Illustrazione dei possibili percorsi della corrente vagante lungo la struttura – simmetrico per il lato Sicilia.

Le correnti vaganti possono anche essere raccolte da conduttori di protezione e schermi dei cavi di sistemi elettrici collegati a terra, che causano surriscaldamento. Si raccomanda di individuare e mitigare il rischio di correnti vaganti trasportate da cavi.

4.1.1 Isolamento imperfetto delle rotaie

I binari sull'impalcato in acciaio del ponte sono progettati per essere isolati, applicando un sistema apposito di binario incapsulato Epsilon:

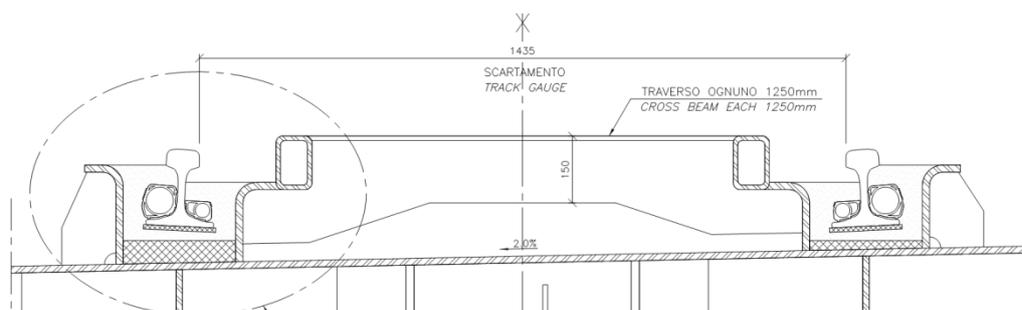


Figura 2: Binari incapsulati – sistema Epsilon

I binari sono incapsulati mediante un materiale isolante che, secondo le caratteristiche tecniche di Epsilon, dovrebbe fornire un isolamento migliore di $5000 \Omega \cdot \text{km}$ corrispondenti a $0.2 \times 10^{-3} \text{ S/km}$.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Correnti vaganti, analisi e monitoraggio		Codice documento <i>PI0037_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20/06/2011

Electrical resistance or conductance	EN 50122-2	fully embedded	$\sim 0.2 \times 10^{-3}$ ~ 5000	$S \text{ km}^{-1}$ $\Omega \text{ km}$	stray current protection
Electrical resistance	EN 13146-5	R_{33}	>5	k Ω	signalling insulation rail-rail

(voci nella tabella da sinistra verso destra)

resistenza elettrica o conduttanza EN50122-2 interamente incapsulato protezione corrente vagante
 resistenza elettrica segnalazione isolamento binario/binario

Anche se questo valore è per un binario, ad esempio l'isolamento è 2500 $\Omega \cdot \text{km}$ corrispondente $0.4 \times 10^{-3} \text{ S/km}$ per una ferrovia di due binari, esso è 1250 volte migliore del valore massimo di 0.5 S/km raccomandato da EN 50122-2:

Table 1: Recommended conductance per unit length G' for single track sections

Traction system	Open air S / km	Tunnel S / km
railway	0,5	0,5
Mass transportation system in open formation	0,5	0,1
Mass transportation system in closed formation	2,5	-

NOTE 1: The values given in table 1 are based on two running rails per track.

(Tabella 1: Conduttanza raccomandata per unità di lunghezza G' per sezioni di binario unico)
 Sistema di trazione Aria aperta Tunnel
 Ferrovia
 Sistema di trasporto di massa in formazione aperta
 Sistema di trasporto di massa in formazione chiusa
 Nota 1: I valori forniti nella Tabella 1 si basano su due rotaie per binario

La lunghezza del ponte fra le strutture terminali è di 3.666 km, corrispondenti ad un isolamento teorico migliore di:

$2 \times 3.666 \times 0.4 \times 10^{-3} = 0.0029 \text{ S}$ corrispondente a 341 Ω per entrambi i binari sull'intero ponte in acciaio.

Il valore di resistenza teorico diminuirà in ragione della contaminazione sulla superficie dell'isolamento Epsilon, ad esempio dovuto alla polvere di frenata, materiale abraso dai binari e altra polvere e/o detriti. Malgrado lo scolo per 30 m, acqua e umidità raccoglieranno polvere sulla superficie, costituendo un percorso di corrente attraverso l'isolamento.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
Correnti vaganti, analisi e monitoraggio		<i>Codice documento</i> <i>PI0037_F0_ITA.docx</i>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 2px;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left; padding: 2px;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">F0</td> <td style="padding: 2px;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Il valore di isolamento dei binari reale, da applicarsi nella valutazione delle correnti vaganti, dipende dalla quantità di contaminazione e dalla frequenza di pulizia della sede di alloggiamento dei binari.

Laddove i binari incrociano i giunti di dilatazione nell'impalcato del ponte, ad esempio alle strutture terminali, il sistema di incapsulamento Epsilon non può essere applicato. In questo caso si utilizzano sistemi di isolamento tradizionali. Per queste brevi lunghezze del binario, il valore di conduttanza di 0.5 S/km raccomandato da EN 50122-2 può essere utilizzato per la valutazione.

4.1.2 Percorsi metallici lungo la struttura del ponte

Dal cassone ferroviario del ponte, le correnti vaganti possono defluire in tutte le parti del ponte in acciaio. I percorsi fondamentali individuati, sono mostrati nella figura sottostante:

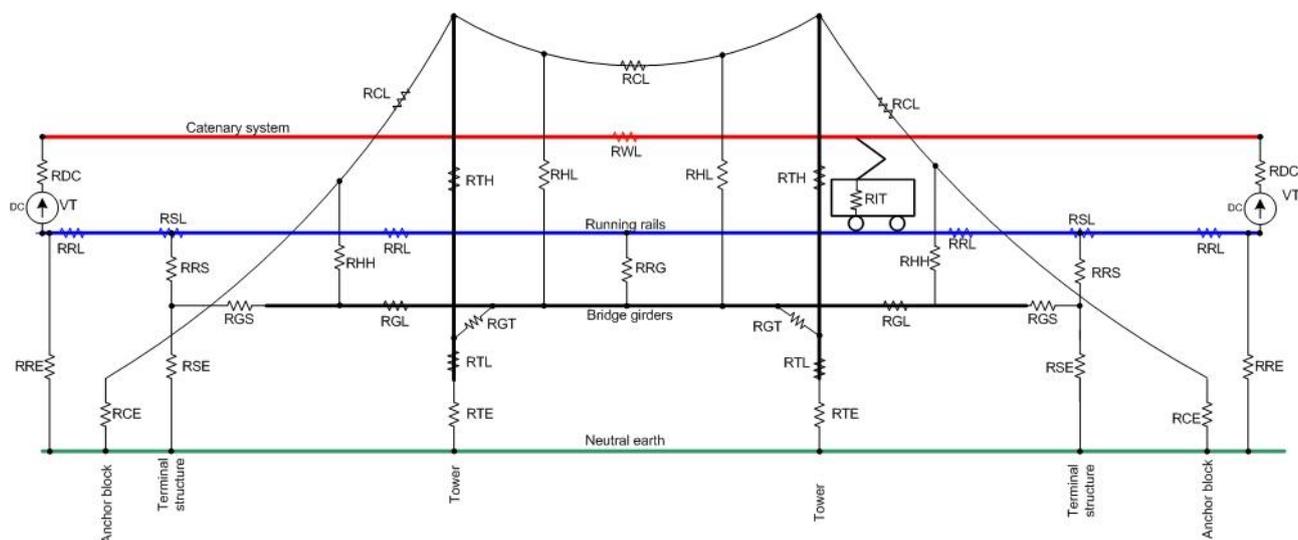


Figura 3: Resistenze dei percorsi di corrente essenziali

Dai disegni di progetto e relazioni, sono stati identificati, calcolati e stimati i valori delle resistenze pertinenti, utilizzati per la quantificazione delle correnti vaganti in condizioni ideali. Alcuni dei valori, come ad esempio la resistenza fra il binario e il cassone del ponte, saranno inferiori durante il funzionamento, laddove l'umidità si accumuli sull'isolamento e si forma polvere.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Correnti vaganti, analisi e monitoraggio		<i>Codice documento</i> <i>PI0037_F0_ITA.docx</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20/06/2011</i>

4.2 Basi di calcolo

Valori di resistenza	Nome	Numero di calcolo	Risultato	Unità
Resistenza cavi principali a terra, 4 cavi (a ciascun blocco di ancoraggio)	RCE	1	0.05	Ohm
Resistenza longitudinale cavi principali, 4 cavi paralleli	RCL	2	4.31E-05	Ohm/km
Resistenza interna del sistema di raddrizzatore di Potenza di trazione	RDC	3	0.1	Ohm
Resistenza longitudinale del cassone del ponte, tutti i cassoni	RGL	4	1.65E-04	Ohm/km
Resistenza fra i cassoni del ponte e la struttura terminale	RGS	5	0.5	Ohm
Resistenza fra i cassoni del ponte e torri, una torre	RGT	6	2.30E-05	Ohm
Resistenza pendini, pendini 1-16 incl.	RHH	7	5.74E-04	Ohm/km
Resistenza pendini, pendini 17-60 incl.	RHL	7	6.81E-04	Ohm/km
Carico da treno, rappresentato dalla resistenza del carico	RIT	8	2	Ohm
Resistenza fra b inari e terra, fuori dal ponte, 1 binario	RRE	9	2	Ohm.km
Resistenza fra b inari e cassone del ponte, 1 binario	RRG	10	2500	Ohm.km
Resistenza longitudinale dei binari, 1 binario, 2 rotaie	RRL	11	0.01145	Ohm/km
Resistenza binari struttura terminale, 1 binario	RRS	12	6.35	Ohm
Resistenza a terra della struttura terminale (uguale per Sicilia e Calabria)	RSE	13	0.161	Ohm
Resistenza longitudinale dei binari, 1 binario, 2 rotaie alla struttura terminale	RSL	14	0.00155	Ohm
Resistenza longitudinale della struttura terminale (uguale per Sicilia e Calabria)	RSR	15	3.75E-06	Ohm
Resistenza torri a terra, una torre	RTE	16	0.09	Ohm
Resistenza torri in acciaio, sopra livello impalcato del ponte, una torre	RTH	17	4.7E-06	Ohm
Resistenza torri in acciaio, sotto livello impalcato del ponte, una torre	RTL	18	1.9E-07	Ohm
Resistenza longitudinale del sistema catenaria, un sistema	RWL	19	0.037	Ohm/km

Tabella 1: Valori di resistenza per il modello di calcolo

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Correnti vaganti, analisi e monitoraggio		<i>Codice documento</i> <i>PI0037_F0_ITA.docx</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20/06/2011</i>

5 Quantificazione dei risultati

Un modello di calcolo delle tensioni ai nodi e delle correnti di linea in una rete di resistenza è sviluppato e può essere applicato per la quantificazione delle correnti vaganti e l'individuazione delle possibili aree a rischio di corrosione dovuta alle correnti vaganti, che richiedono particolare attenzione e monitoraggio.

La valutazione della magnitudo delle correnti vaganti, dipende fortemente dalla qualità dei dati di input che devono essere verificati.

Fra questi dati essenziali che devono essere verificati vi è:

- Tensione sistema di trazione
- Distanza dalle sottostazioni di potenza di trazione
- Tipi di locomotive
- Frequenza del traffico ferroviario
- Resistenza specifica del suolo

I valori di resistenza forniti alla Tabella 1 sono preliminari e sono stati valutati / calcolati come mostrato al Capitolo 7.

6 Sistemi di monitoraggio proposti

6.1 Monitoraggio della corrosione dovuta a corrente vagante

Il montaggio dei binari sul ponte in un composto di isolamento, di per se stesso, limiterà la magnitudo delle correnti vaganti. L'isolamento dei binari può tuttavia presentare lacune o essere by-passato da detriti o altri materiali estranei. Si raccomanda dunque di prevedere un sistema di monitoraggio della corrosione per il Ponte sullo Stretto di Messina, incluso il monitoraggio volto a individuare:

- Corrosione dovuta a correnti vaganti

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Correnti vaganti, analisi e monitoraggio		<i>Codice documento</i> PI0037_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- Potenziali gradienti da e verso le strutture del ponte

Si raccomanda inoltre che la tensione fra binario e mesh di corrente vagante sia monitorato su base continuativa, ad esempio mediante valutazione statistica del potenziale del binario relativo alla struttura del ponte.

Le strutture esposte alla corrosione dovuta alla corrente vagante, sono le strutture in cemento in contatto con il suolo, ad esempio le fondazioni delle torri e delle strutture terminali e i blocchi di ancoraggio.

Poiché l'esterno di queste strutture è praticamente inaccessibile dopo la costruzione, i preparativi per il monitoraggio delle correnti vaganti devono essere predisposti prima delle operazioni di riempimento (*backfilling*).

Tali preparativi devono includere almeno:

la fornitura di continuità elettrica delle barre di rinforzo.

6.2 Corrosione generica e modelli di aggiornamento della vita utile

Oltre al monitoraggio della corrosione dovuta alla corrente vagante, si raccomanda fortemente di installare sensori di monitoraggio della corrosione nelle sezioni più esposte e più critiche delle strutture. Ciò permetterà di effettuare la necessaria verifica ed aggiornamento della vita utile delle nuove strutture. Ciò diventerà anche una convalida dei presupposti di progetto.

Oggigiorno in commercio sono disponibili unità di acquisizione dati, attraverso le quali i dati di monitoraggio possono essere trasmessi mediante comunicazione wireless ad un computer centrale situato al centro di servizio del ponte; questi dati permetteranno una ulteriore valutazione da parte del personale responsabile della manutenzione e del funzionamento del ponte.

6.3 Sensori di monitoraggio

Si raccomandano le seguenti tipologie di monitoraggio:

- Sensori di monitoraggio della corrosione che includono elettrodi in acciaio nero, elettrodi *counter*, collegamenti di rinforzo, elettrodi di riferimento e sensori di temperatura inseriti all'interno delle strutture in cemento al momento della costruzione.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Correnti vaganti, analisi e monitoraggio		<i>Codice documento</i> PI0037_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- Elettrodi di rilevamento che includano elettrodi in acciaio montati ad incasso sulla parte esterna delle fondazioni e dei blocchi di ancoraggio.
- Provini di corrosione inseriti nel cemento.

Se i calcoli o le simulazioni indicano rischi molto bassi di corrosione dovuta a corrente vagante, un sistema di acquisizione dati potrebbe non essere inizialmente necessario. In tal caso i sensori di corrosione dovrebbero essere collocati in una posizione in cui è possibile effettuare la raccolta dati manuale con regolarità, e in posti in cui un sistema centrale di acquisizione dei dati potrebbe essere collegato in futuro, qualora i dati indichino un incremento del rischio di corrosione.

7 Stima dei valori di resistenza per il modello di calcolo

I valori di resistenza illustrati alla Tabella 1 sono calcolati sulla base di quanto segue:

	Parametri generali:						
	Resistenza specifica dell'acciaio, tipica	175	$\Omega/\text{km}/\text{mm}^2$				
	Resistenza specifica del rame, tipica	18.5	$\Omega/\text{km}/\text{mm}^2$				
	Resistenza specifica del suolo (suolo sassoso e roccioso) (ρ)	20	$\Omega.\text{m}$				
Calc. no.							
1	Resistenza cavi principali a terra, 2 cavi (a ciascun blocco di ancoraggio)						
	Volume di 1 blocco di ancoraggio fondazioni						
	Lunghezza – con aggiunta per fondo corrugato	100	m				
	Larghezza aggiunta per fondo corrugato	100	m				
	Altezza interrata	50	m				
	Volume di un blocco di ancoraggio	500000	m^3				
	$R = 0.2 \frac{\rho}{\sqrt[3]{V}}$	Resistenza	0.05	ohm			
2	Resistenza longitudinale dei cavi principali, 2 cavi paralleli	Campata principale	Sicilia	Cal.			
	Numero di fili in un cavo	44323	45847	45339			
	Diametro filo (mm)	5.4	5.4	5.4			
	Sezione trasversale filo (mm^2)	22.90221044	22.90221	22.90221			

	Totale sezione trasversale un cavo (mm ²)	1015095	1049998	1038363			
	Totale sezione trasversale quattro cavi (m ²)	4060380	4199992	4153452			
	Resistenza 4 cavi (ohm/km)	4.31E-05	4.17E-05	4.21E-05			
3	Impedenza della corrente di trazione sottostazioni						
	L'impedenza del trasformatore Z% è la tensione primaria in % della tensione nominale richiesta per produrre						
	La corrente nominale secondaria su un corto circuito secondario						
	Z%	5	%				
	Dimensione trasformatore	5000	kVA				
	Tensione nominale primaria	20000	V				
	Tensione nominale secondaria	3000	V L-L				
	Corrente nominale secondaria	962	A				
	Tensione di impedenza fase-fase			150	V		
	Tensione di impedenza fase-neutro			86.60	V		
	Impedenza per produrre	962	A at	86.60	V =	0.0900	Ohm / phase line
	Efficienza raddrizzatore conformemente a ABB	99.50%		at 2000A (presunta)			
	Tensione nominale output	1500	A	3000	V	4500	kW
	Tensione nominale input	1500	A output			4522.6	kW
	Corrente linea secondaria in trasformatore 3-fase @	3000	V L-L =	1732.1	V L-N	870.4	A
	Perdita trasformatore @	870.4	A			204.5	kW
	Perdita totale @	1500	A			227.2	kW
	Resistenza raddrizzatori + trasformatore	$R=P/I^2$	0.1010	Ohm, rounded		0.10	Ohm
4	Resistenza longitudinale del cassone del ponte, tutti i cassoni						
	Sezione trasversale in acciaio di tutti i cassoni	1060000	mm ²				
	Resistenza	0.000165094	Ω/km				
5	Resistenza fra cassoni del ponte e struttura terminale						
	Non è quantificabile in ragione dei sistemi di dilatazione						
	Noi stimiamo	0.5	ohm				

6	Resistenza fra cassoni del ponte e torri, una torre						
	Collegamento elettrico mediante 4 buffer						
	Diametro circa	500	mm				
	Spessore materiale conduttura, stima	20	mm				
	Sezione trasversale di un buffer, approx.	31416	mm ²				
	Lunghezza di un buffer	0.0165	km				
	Resistenza di un buffer	9.2E-05	Ohm				
	Resistenza di 4 buffer	2.3E-05	Ohm				
7	Resistenza pendini	Sezione trasversale totale dei pendini		Resistenza ohm/ km			
	Pendini 1-5	304648	mm ²	0.000574			
	Pendini 6-16	312036	mm ²	0.000561			
	Pendini 17-27	263076	mm ²	0.000665			
	Pendini 28-38	255684	mm ²	0.000684			
	Pendini 39-49	255684	mm ²	0.000684			
	Pendini 50-60	255684	mm ²	0.000684			
	Media Pendino 1-16	305000	mm ²	0.000574			
	Media Pensino 17-60	257000	mm ²	0.000681			
8	Carico da treno, rappresentato dalla resistenza del carico						
	Una tipica locomotiva italiana E632 ha una potenza nominale, P, di	4700000	W				
	Tensione nominale, V	3000	V				
	corrente: P / V	1567	A				
	Resistenza R: V ² /P	1.91	Ω, supponiamo	2 Ω			
9	Resistenza fra binari e terra, fuori ponte 1 binario						
	Secondo EN 50122-2, sezione 5.2, l'isolamento del binario deve essere						
	Migliore di:	0.50	S/km	per binario			
	Convertito in resistenza	2.00	Ω.km	per binario			
10	Resistenza fra binari e cassone del ponte, 1 binario						
	Secondo le schete tecniche Edilon, la resistenza di un binario è	5000.00	Ω.km				
	La resistenza di un binario = due binari è	2500.00	Ω.km				
11	Resistenza longitudinale dei binari, 1						

	binario, 2 binari						
	Un binario comprende 2 rotaie UIC 60						
	Peso/m di un binario	60	kg/m				
	peso/cm	600	g/cm				
	Densità	7.85	g/cm ³				
	Sezione trasversale:	76.43312102	cm ²				
	Sezione trasversale:	7643.312102	mm ²				
	Resistenza specifica	175	Ω/km/mm ²				
	Resistenza di un binario	2.29E-02	ohm/km				
	Resistenza di una rotaia	0.0114	ohm/km				
12	Resistenza binario – struttura terminale, 1 binario						
	Lunghezza della struttura terminale	0.09	km				
	Resistenza rotaia , 2 binari	22.22222	ohm				
	In ragione di 2 binari extra ed ulteriore polvere di acciaio, riduciamo questo						
	Di	250	%				
	Resistenza risultante	6.35	ohm				
13	Resistenza a terra della struttura terminale (lo stesso per Sicilia e Calabria)						
	Resistenza delle fondazioni a terra						
	Un blocco angolare, larghezza	18	m				
	Un blocco angolare, lunghezza	25	m				
	Un blocco angolare, area	450	m ²				
	Blocco di collegamento, lunghezza	18	m				
	Blocco di collegamento, larghezza	8	m				
	Blocco di collegamento, area	144	m ²				
	4 blocchi angolari e due di collegamento	2088	m ²				
	Profondità interrimento	7	m				
	Volume interrato	14616	m ³				
	Resistenza	0.16	ohm				
	Calate di rame, ciascuna	50	mm ²				
	Numero di calate	16					
	Totale sezioni trasversali rame	800	mm ²				
	Lunghezza calate	0.048	km				
	Resistenza calate	0.00111	ohm				
	Resistenza totale	0.161	ohm				
14	Resistenza longitudinale dei binari, 1 binario, 2 rotaie alla struttura terminale						
	Lunghezza struttura terminale, media	0.09	km				
	Resistenza di 1 binario su questa lunghezza	0.001030313	ohm				
	Aggiunta per giunti di dilatazione	50	%				
	Resistenza totale	0.00155	ohm				
15	Resistenza longitudinale della struttura terminale (uguale per Sicilia e Calabria)						

	Sezione trasversale acciaio					
	Altezza media	6.8	m			
	Numero sostegni longitudinali	13				
	larghezza	60.8	m			
	Lunghezza sezioni trasversali in acciaio	210	m			
	Spessore medio piastre di sostegno	20	mm			
	Sezione trasversale acciaio	4200000	mm ²			
	Lunghezza struttura terminale, media	0.09	km			
	Resistenza	0.00000375	ohm			
16	Fondazioni torri	RTE				
	Volume fondazione 1 torre					
	Diametro	55	m			
	Altezza interrata	17	m			
	volume di due fondazioni circolari (V)	80778	m ³			
	$R = 0.2 \frac{P}{\sqrt[3]{V}}$ Resistenza	0.09	ohm			
17	Resistenza torri in acciaio, sopra livello dell'impalcato, una torre					
	Lunghezza acciaio in una sezione trasversale	126	m			
	Spessore acciaio, medio	50	mm			
	Area acciaio in sezione trasversale	6300000	mm ²			
	Resistenza, per km, una gamba	2.77778E-05	ohm/km			
	Resistenza, per km, due gambe	1.38889E-05	ohm/km			
17	Resistenza torri in acciaio, sopra livello dell'impalcato, una torre					
	Altezza	0.341	km			
	Resistenza	4.73611E-06	ohm			
18	Resistenza torri in acciaio, sopra livello dell'impalcato, una torre					
	Altezza	0.04	km			
	Resistenza	1.89444E-07	ohm			
18	Resistenza catenaria					
	Un sistema di catenaria con filo di contatto e filo catenario					
	Approx. Cu sezione trasversale	500	mm ²			
	Resistenza	3.70E-02	ohm/km			